

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-147305

(43)Date of publication of application : 26.05.2000

(51)Int.Cl.

G02B 6/293
G02B 6/122

(21)Application number : 10-316318

(71)Applicant : OKI ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 06.11.1998

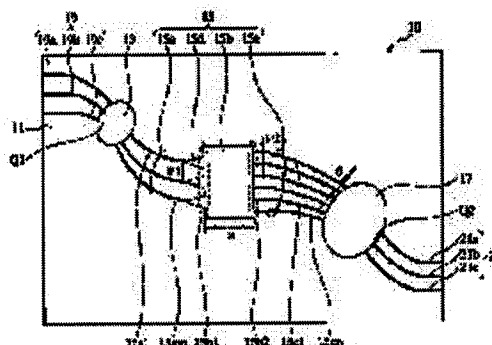
(72)Inventor : OKAYAMA HIDEAKI

(54) COMBINING AND BRANCHING ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a new combining and branching element, which reduces the transmission loss caused by the wavelength deviation in inputted light beams, by providing a phase difference adding section that gives stepwise phase differences against the wavelength changes in the inputted light beams.

SOLUTION: The element is provided with a distributing section 13, which distributes inputted light beams into more than two groups, a phase difference adding section 15, which gives phase difference to the distributed light beams that are distributed by the section 13 in accordance with the wavelengths of the inputted light beams, and a condensing section 17 which condenses the distributed light beams that are distributed into more than two groups and that phase differences are given. The section 15 that provides stepwise phase differences among the distributed light beams in accordance with the changes in the wavelengths of the inputted light beams is provided. Thus, the wave fronts formed by distributed light beams are made same as for the wavelengths of the inputted light beams that are more than an n -th wavelength λ_n and less than an $n+1$ th wavelength λ_{n+1} . Thus, if the wavelength of the inputted light beams is deviated between more than the n th wavelength λ_n and less than the $n+1$ th wavelength λ_{n+1} , the inputted light beams are condensed at a same condensed position and the transmission loss is prevented.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-147305
(P2000-147305A)

(43) 公開日 平成12年5月26日 (2000. 5. 26)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
G 0 2 B	6/293	G 0 2 B	B 2 H 0 4 7
	6/122	6/12	D

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願平10-316318

(22) 出願日 平成10年11月6日 (1998. 11. 6)

(71) 出願人 000000295

沖電気工業株式会社

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号

(72) 発明者 岡山 秀彰

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気
工業株式会社内

(74) 代理人 100085419

弁理士 大垣 孝

Fターム(参考) 2H047 KA02 KA03 KA12 KA13 LA00
LA19 TA35

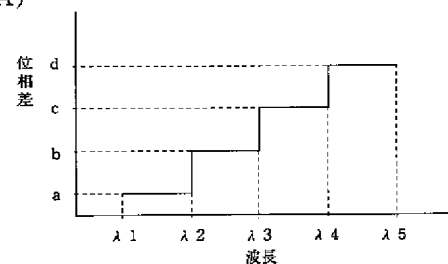
(54) 【発明の名称】 合分波素子

(57) 【要約】

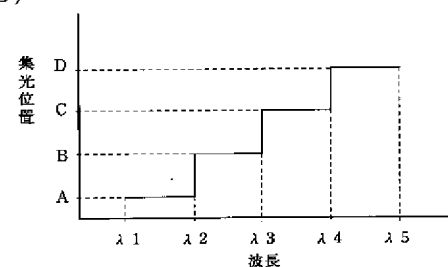
【課題】 入力光を2以上に分配する分配部13と、入力光の波長に応じて、分配光間に位相差を与える位相差付与部15と、位相差が与えられた分配光を集光する集光部17とを具える合分波素子。入力光の波長ずれに起因する伝送損失を低減する。

【解決手段】 位相差付与部15として、入力光の波長変化に対して前記位相差を階段状に与える位相差付与部を具える。

(A)



(B)



この発明の作用を説明する図

【特許請求の範囲】

【請求項1】 入力光を2以上に分配する分配部と、前記入力光の波長に応じて、前記分配光間に位相差を与える位相差付与部と、該位相差が与えられた前記2以上の分配光を集光する集光部とを具えた合分波素子において、

前記位相差付与部として、前記入力光の波長変化に対して前記位相差を階段状に与える位相差付与部を具えることを特徴とする合分波素子。

【請求項2】 請求項1に記載の合分波素子において、前記位相差付与部は、第1の部分と、第2の部分と、第3の部分とを含み、

前記第1の部分は、前記分配部により分配された分配光間に該光の波長に応じた位相差を該位相差が第1の値になるまでは付与し該位相差が該第1の値になると該位相差を0に戻すことを、次々の波長域で繰り返す、第1の位相差付与特性を持つ部分であり、

前記第2の部分は、該第1の部分に接続されていて、前記第1の部分を伝搬した光を分配して第2の分配光を生成することにより、前記第1の部分での分配光間位相差を該第2の分配光間位相差に変換する、第2の位相差付与特性を持つ部分であり、

前記第3の部分は、前記第2の部分および前記集光部間に設けられていて、前記第2の位相差付与特性中の波長に応じて位相差を付与する部分の特性と逆の極性の特性に相当する、第3の位相差付与特性を持つ部分であることを特徴とする合分波素子。

【請求項3】 請求項1に記載の合分波素子において、前記位相差付与部は、平面導波路と、該平面導波路および前記分配部間に設けられた第1の導波路アレイと、該平面導波路および前記集光部間に設けられた第2の導波路アレイとを含み、

前記第1の導波路アレイは、該アレイの各導波路が前記平面導波路の第1端に第1のピッチで取り付けられていて、該アレイ中の隣接する導波路を伝搬する光間に該光の波長に応じた位相差を付与しかつ前記平面導波路に平面波を形成するように、前記各導波路の光路長を違えてある導波路アレイであり、

前記第2の導波路アレイは、該アレイの各導波路が前記平面導波路の第2端に前記第1のピッチより狭い第2のピッチで取り付けられていて、該アレイ中の隣接する導波路を伝搬する光間に該光の波長に応じた位相差を付与するように前記各導波路の光路長を違えてある導波路アレイであることを特徴とする合分波素子。

【請求項4】 請求項1に記載の合分波素子において、前記位相差付与部は、平面導波路と、該平面導波路および前記分配部間に設けられた第1の導波路アレイと、該平面導波路および前記集光部間に設けられた第2の導波路アレイとを含み、

前記第1の導波路アレイは、該アレイ中の隣接する導波

路を伝搬する光間に該光の波長に応じた位相差を付与しかつ前記平面導波路に球面波を形成するように、前記各導波路の光路長を違えてある導波路アレイであり、

前記第2の導波路アレイは、該アレイ中の隣接する導波路を伝搬する光間に該光の波長に応じた位相差を付与するように前記各導波路の光路長を違えてある導波路アレイであることを特徴とする合分波素子。

【請求項5】 請求項2に記載の合分波素子において、前記第1の部分を、請求項3に記載の第1の導波路アレイおよび平面導波路で構成し、

前記第2の部分を、請求項3に記載の平面導波路および第2の導波路アレイで構成し、

前記第3の部分を、請求項3に記載の第2の導波路アレイで構成してあることを特徴とする合分波素子。

【請求項6】 請求項2に記載の合分波素子において、前記第1の部分を、請求項4に記載の第1の導波路アレイおよび平面導波路で構成し、

前記第2の部分を、請求項4に記載の平面導波路および第2の導波路アレイで構成し、

前記第3の部分を、請求項4に記載の第2の導波路アレイで構成してあることを特徴とする合分波素子。

【請求項7】 請求項3または5に記載の合分波素子において、

前記第1の導波路アレイの各導波路の屈折率を n_1 とし、これら導波路の長さを順に違える当該長さを ΔL_1 とし、前記第2の導波路アレイの各導波路の屈折率を n_2 とし、これら導波路の長さを順に違える当該長さを ΔL_2 としたとき、 $\Delta L_2 = (\Delta L_1 / r) \cdot (n_1 / n_2)$ を満たすように、第1および第2の導波路アレイの各導波路の光路長を定めてあることを特徴とする合分波素子（ただし、 r は、 $r = \text{第1のピッチ} / \text{第2のピッチ}$ で与えられる値である。）。

【請求項8】 請求項3～7のいずれか1項に記載の合分波素子において、

前記第1の導波路アレイの各導波路は、前記平面導波路の第1端に、該第1の導波路アレイから該第1端に向かうにしたがい導波路幅が広がっている第1のテーパ導波路を介して、接続してあり、

前記第2の導波路アレイの各導波路は、前記平面導波路の第2端に、該第2の導波路アレイから該第2端に向かうにしたがい導波路幅が広くされた第2のテーパ導波路を介して接続してあることを特徴とする合分波素子。

【請求項9】 請求項3～8のいずれか1項に記載の合分波素子において、

前記第1の導波路アレイの各導波路の端部を、前記平面導波路の第2端側に設定した任意の1点から前記平面導波路の第1端に向かって放射状に伸びる複数の仮想直線に沿うように、前記第1端に取り付けてあることを特徴とする合分波素子。

【請求項10】 請求項9に記載の合分波素子におい

て、
前記第2の導波路アレイの各導波路の端部を、前記平面導波路の第1端側に設定した任意の1点から前記第2端に向かって放射状に伸びる複数の仮想直線に沿うように、前記第2端に取り付けてあることを特徴とする合分波素子。

【請求項11】 請求項8に記載の合分波素子において、
前記第1のテーパ導波路は、前記平面導波路の第2端側に設定した任意の1点から前記平面導波路の第1端に向かって放射状に伸びる複数の仮想直線に沿うように、前記第1端に取り付けてあることを特徴とする合分波素子。

【請求項12】 請求項11に記載の合分波素子において、
前記第2のテーパ導波路は、前記平面導波路の前記第1端側に設定した任意の1点から前記第2端に向かって放射状に伸びる複数の仮想直線に沿うように、前記第2端に取り付けてあることを特徴とする合分波素子。

【請求項13】 請求項9～12のいずれか1項に記載の合分波素子において、
前記任意の1点が、当該平面導波路端の中心点、または、当該平面導波路端に接続されている第2の導波路アレイにより形成される波面の中心点であることを特徴とする合分波素子。

【請求項14】 請求項4または6に記載の合分波素子において、
前記第1導波路アレイの導波路数を $N1$ 、これら $N1$ 本の導波路を前記平面導波路へ取り付け付けた取り付けピッチを $p11$ 、前記第2導波路アレイの導波路数を $N2$ 、これら $N2$ 本の導波路を前記平面導波路へ取り付け付けた取り付けピッチを $p22$ としたとき、
前記第1および第2の導波路アレイを、 $N1 \cdot p11 \neq N2 \cdot p22$ を満たし、かつ、前記平面導波路に光を入力するとき該平面導波路内の共通な1点を焦点とする球面波を形成する導波路アレイとしてあることを特徴とする合分波素子。

【請求項15】 請求項14に記載の合分波素子において、
 $N1 \cdot p11 < N2 \cdot p22$ としてあり、
前記第1導波路アレイの $N1$ 本の導波路の端部は、前記焦点から前記平面導波路の第1端に向かって放射状に伸びる複数の第1仮想直線に沿うように、前記第1端に取り付けてあり、
前記第2導波路アレイの $N2$ 本の導波路の端部は、前記焦点から前記平面導波路の第2端に向かって放射状に伸びる複数の第2仮想直線に沿うように、前記第2端に取り付けてあることを特徴とする合分波素子。

【請求項16】 請求項1～6のいずれか1項に記載の合分波素子において、

前記分配部を、第1の平面導波路で構成し、前記集光部を第2の平面導波路で構成してあることを特徴とする合分波素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、波長多重された光信号を所定の波長域の複数の光に分波する機能、および、種々の波長光を合波する機能を有した、合分波素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来の合分波素子として、例えば文献1（アイイーイーイー フォトニクステクノロジー レターズ (IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS) VOL.8, NO.10, pp.1340-1342)に開示された素子がある。

【0003】この合分波素子は、文献1のFig. 1に開示されている様に、分配部（文献1中の領域P1）と、位相差付与部（文献1中の導波路アレイ）と、集光部（文献1中の領域P2）とをこの順に具える。この分配部は、入力光をパワー的に2以上に分配する。また位相差付与部は、前記分配部から出力される分波光間に、波長に応じて、位相差を与える。また集光部は、この位相差が与えられた分配光を集光する。

【0004】この合分波素子は次の様に動作する。入力光として例えば波長多重光が入力される。この入力光は、分配部でパワー的に分配される。これら分配光中に含まれる各波長光間に、位相差付与部は、波長に応じた位相差を与える。このように位相差が与えられた各分配光は、集光部内で波長毎に特定の波面を形成する。そのため、入力光中の各波長光は、この集光部の、位相差付与部とは反対側の端部（以下、端部）の異なる位置に、それぞれ集光される。このように集光された各波長光は、集光部の端部に予め設けてある出力用導波路（文献1中のoutput guides）から取り出される。従って、分波動作が実現される。逆に、この集光部の上記集光位置それぞれから、各波長光を分配部側に向かうように入力すると、合波動作が実現される。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述したような合分波素子では、その動作原理上、光源の波長ずれが生じた場合、集光部の端部での各波長毎の集光位置がずれてしまう。すると、集光部の端部に設けてある出力用導波路に対する集光光の結合が減るため、光損失（伝送損失）が生じる。

【0006】これを回避するため、文献1に開示されている技術では、入力光のモードを、集光部の端部に設けてある出力用導波路のモードより広げる努力をしている（文献1の例えばFig. 5 (a)、(b)）。すなわち、入力光を、なるべく空間的に台形形状に広げる努力をしている。これを文献1では、入力光をフラットトップにすると称しているので、以下、「フラットトップ

化」という。文献1では、このフラットトップ化を実現するために、分配部の前段に、MMI（マルチモードインタフェアレソンス カプラー）を設けている。

【0007】しかしながら、文献1に開示された技術の場合、フラットトップ化出来る反面、入力光のパワーは空間上に分散される。そのため、この文献1に開示の合分波素子の場合、入力光の波長ずれがあった場合の致命的な伝送損失は防止できるが、フラットトップ化しない場合に比べて、ある程度の伝送損失を常時伴うという問題点がある。

【0008】従って、入力光の波長ずれがあってもそれ起因する伝送損失を低減出来る新規な合分波素子が望まれる。

【0009】

【課題を解決するための手段】そこで、この発明によれば、入力光を2以上に分配する分配部と、この分配部で分配された分配光間に、入力光の波長に応じて、位相差を与える位相差付与部と、該位相差が与えられた前述の2以上の分配光を集光する集光部とを具えた合分波素子において、この位相差付与部として、前述の入力光の波長変化に対して前述の位相差を階段状に与える位相差付与部を具えることを特徴とする。

【0010】この発明の合分波素子の作用について、図1（A）および（B）を参照して説明する。ここで、図1（A）は、横軸に波長をとり、縦軸にこの発明に係る位相差付与部が付与する位相差をとって示した、波長一位相差特性である。また、図1（B）は、横軸に波長をとり、縦軸に集光部の出力導波路側端部における複数の集光位置をとって示した、波長—出力位置特性である。

【0011】この発明に係る位相差付与部では、図1（A）に示すように、入力光の波長が第1の波長 λ_1 から第2の波長 λ_2 の間（例えば λ_1 以上 λ_2 未満）では、分配部で分配された各分配光間に、位相差 a が与えられ、第2の波長 λ_2 と第3の波長 λ_3 との間（例えば λ_2 以上 λ_3 未満）では、各分配光間に位相差 b が与えられ、・・・、という具合に、入力光の波長変化に対して、各分配光間に、階段状に位相差が与えられる。

【0012】すると、入力光の波長が第1の波長 λ_1 から第2の波長 λ_2 の間では、各分配光によって形成される波面は同じになる。また、入力光の波長が第2の波長 λ_2 から第3の波長 λ_3 の間では、各分配光によって形成される波面は同じになる。また、入力光の波長が第3の波長 λ_3 から第4の波長 λ_4 の間では、各分配光によって形成される波面は同じになる。

【0013】従って、図1（B）に示すように、入力光の波長が第1の波長 λ_1 以上第2の波長 λ_2 未満の間では、それら光は集光位置Aに集光され、入力光の波長が第2の波長 λ_2 以上第3の波長 λ_3 未満の間では、それら光は集光位置Bに集光され、入力光の波長が第3の波長 λ_3 以上第4の波長 λ_4 未満の間では、それら光は集

光位置Cに集光される、という具合になる。

【0014】そのため、入力光として、波長が $\lambda_1 \sim \lambda_2$ の任意の光、例えば波長が $(\lambda_1 + \lambda_2) / 2$ の光を用いた場合、入力光の波長が $\lambda_1 \leq \lambda < \lambda_2$ の範囲でずれたとしても、入力光を同一集光位置に集光できる。そのため、この範囲での波長ずれに起因する伝送損失を防止できる。入力光として波長多重光を用いる場合は、第1の入力光として、波長が例えば $(\lambda_1 + \lambda_2) / 2$ の光を用い、第2の入力光として、波長が例えば $(\lambda_2 + \lambda_3) / 2$ の光を用い、第3の入力光として、波長が例えば $(\lambda_3 + \lambda_4) / 2$ の光を用いると、第1の入力光～第3の入力光それぞれの波長ずれ対策が可能になる。

【0015】上記の位相差付与部の好ましい構成例として、第1の部分と第2の部分と第3の部分とを含む構成が良い。

【0016】ただし、第1の部分とは、分配部により分配された分配光間に、この光の波長に応じた位相差を、この位相差が第1の値になるまでは付与し、この位相差が第1の値になるとこの位相差を0に戻すことを、次々の波長域で繰り返す、第1の位相差付与特性を持つ部分である。

【0017】また、第2の部分とは、第1の部分に接続されていて、第1の部分を伝搬した光を分配して第2の分配光を生成することにより、第1の部分での分配光間位相差を第2の分配光間位相差に変換する、第2の位相差付与特性を持つ部分である。

【0018】また、第3の部分とは、第2の部分と集光部との間に設けられた部分であって、第2の位相差付与特性中の波長に応じて位相差を付与する部分の特性と逆の極性の特性に相当する、第3の位相差付与特性を持つ部分である。

【0019】この好ましい構成例によれば、詳細は後に図6を参照して説明するが、第1～第3の各部分が持つ位相差付与特性が合成されるので、入力光の波長変化に対して、分配光間の位相差を、階段状に与えることができる。然も、第2の分配光を生成する際の分配具合を制御することにより、同一位相差を与える波長範囲（すなわち、上記の図1中の階段の各段を決める波長範囲）を制御することができる。

【0020】この第1～第3の部分を持つ位相差付与部の具体的な構成として、例えば、以下の第1の例および第2の例を挙げることができる。

【0021】第1の例とは、前記位相差付与部を、平面導波路と、第1の導波路アレイと、第2の導波路アレイとを含む構成とする例である。

【0022】ただし、この第1の導波路アレイは、前記平面導波路および前記分配部間に設けられた第1の導波路アレイである。然も、該アレイの各導波路が前記平面導波路の第1端に第1のピッチで取り付けられていて、

該アレイ中の隣接する導波路を伝搬する光間に該光の波長に応じた位相差を付与しかつ前記平面導波路に平面波を入力形成するように、前記各導波路の光路長を違えてある導波路アレイである。また、この第2の導波路アレイは、前記平面導波路および前記集光部に設けられた導波路アレイである。然も、該アレイの各導波路が前記平面導波路の第2端に前記第1のピッチより狭い第2のピッチで取り付けられていて、該アレイ中の隣接する導波路を伝搬する光間に該光の波長に応じた位相差を付与するように前記各導波路の光路長を違えてある導波路アレイである。

【0023】また、第2の例とは、前記位相差付与部を、平面導波路と、上記の第1の例とは異なる第1の導波路アレイと、上記の第1の例とは異なる第2の導波路アレイとを含む構成とする例である。

【0024】ただし、この第2の例での第1の導波路アレイは、前記平面導波路および前記分配部に設けられた導波路アレイであって、該アレイ中の隣接する導波路を伝搬する光間に該光の波長に応じた位相差を付与しかつ前記平面導波路に球面波を形成するように、前記各導波路の光路長を違えてある導波路アレイである。また、この第2の例での第2の導波路アレイは、前記平面導波路および前記集光部に設けられた導波路アレイであって、該アレイ中の隣接する導波路を伝搬する光間に該光の波長に応じた位相差を付与するように前記各導波路の光路長を違えてある導波路アレイである。

【0025】これら第1および第2の例いずれの場合も、上述の好ましい構成例でいう第1～第3の部分を実現できる。そのため、入力光の波長変化に対して、分配光間の位相差を、階段状に与えることができる。然も、同一位相差を与える波長範囲を制御することができる。

【0026】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照してこの発明の合分波素子の実施の形態について説明する。しかしながら、説明に用いる各図はこの発明を理解出来る程度に各構成成分の形状、大きさ配置関係などを概略的に示してあるにすぎない。また、説明に用いる各図において、同様な構成成分については同一の番号を付して示し、その重複する説明を省略することもある。

【0027】1. 第1の実施の形態

図2は第1の実施の形態の合分波素子10の構成を概略的に示した図である。詳細には、合分波素子10を、これが作り込まれた基板11の上方から見た平面図である。

【0028】この合分波素子10は、基板11に、分配部13と、位相差付与部15と、集光部17とをこの順に具える。

【0029】基板11は、導波路形成に好適な種々の基板で構成することができる。例えば、ニオブ酸リチウム等の電気光学結晶からなる基板、またはガラス基板、ま

たは化合物半導体基板、または高分子材料からなる基板など、任意好適な基板で構成することができる。

【0030】また、分配部13は、入力光をパワー的に2以上に分配して位相差付与部15に入力する手段である。この分配部13を、この実施の形態では、平面導波路により構成してある。設計が比較的容易だからである。

【0031】分配部13としてのこの平面導波路の平面形状は、設計に応じた任意の形状とすることができる。好ましくは、この分配部13を、図7(A)に示す様に、入力側および出力側それぞれの端部が半径R1で定義される円弧となっていて、然も、一方の円弧を規定する円の中心(図7(A)中のQ1やQ3)が他方の円弧上(例えばその中心)に位置するような、平面導波路とするのが良い。光の伝搬に好ましいからである。

【0032】この分配部13の、位相差付与部15が接続された側とは反対側に、少なくとも1本の入力導波路19を接続してある。図1の例では、3本の入力導波路19a～19c(もちろん本数は一例にすぎない)を接続してある。

【0033】この入力導波路19から入力される入力光は、分配部13により、パワー的に2以上に、分配される。具体的には、後述する第1の導波路アレイ15aが有する複数本の導波路に分配される。

【0034】分配部13を平面導波路で構成する場合の該平面導波路および入力導波路19は、基板11の材料等を考慮した任意の方法で形成出来る。これに限られないが、例えば、基板11の表層部に平面導波路13や入力導波路19の形状を持つ拡散導波路を形成する方法、または基板11上に平面導波路13や入力導波路19の形状を持つ導波路を別途に形成する方法などである。

【0035】また、この第1の実施の形態の場合、位相差付与部15を、第1の導波路アレイ15a、平面導波路15bおよび第2の導波路アレイ15cを含む位相差付与部としてある。以下、詳細に説明する。

【0036】第1の導波路アレイ15aは、複数の導波路15a1～15amで構成してある。これら各導波路15a1～15amの一端を分配部13に接続してあり、他端を、平面導波路15bの第1端15b1に第1のピッチP1で接続してある。これら導波路15a1～15amは、好ましくは第1のテーパ導波路15dを介して平面導波路15bの第1端15b1に、第1のピッチP1で、接続するのが良い(詳細は後述する。))。

【0037】この第1の導波路アレイ15aは、各導波路15a1～15amを伝搬する光間に、この光の波長に応じた位相差(詳細は後述する)を与え、かつ、平面導波路15bに平面波を形成する導波路アレイである。

【0038】各導波路15a1～15amを同一材料で構成する場合なら、各導波路15a1～15amの長さ(物理的な長さ)を、例えば15a1から15amに向

かつて任意の値 ΔL_1 ずつ長くし、かつ、各導波路15a1~15amの長さを、上記平面波を励起出来る様な長さにすれば、この第1の導波路アレイ15aを実現できる。

【0039】なお、各導波路15a1~15amの長さは、これに限られないが、典型的には、分配部13の、入力導波路19が接続された端部の中央点Q1（図2、図7（A）参照）と、平面導波路15bの第1端15b1との間の長さ、と定義される。

【0040】この第1の導波路アレイ15aの各導波路15a1~15amそれぞれは、基板11の材料等を考慮した任意の方法で形成出来る。これに限られないが、例えば、基板11の表層部に各導波路15a1~15amに相当する拡散導波路を形成する方法、または基板11上に各導波路15a1~15amに相当する導波路を別途に形成する方法などである。

【0041】なお、上述の第1のピッチP1は、設計に応じた値とする。ただし、少なくとも、第2の導波路アレイ15cの各導波路15c1~15cnを平面導波路15bの第2端15b2に取り付ける第2のピッチP2に対して、 $P1 > P2$ を満たす、任意の値にする。

【0042】また、第1のテーパ導波路15dを設ける場合、この第1のテーパ導波路15dは、第1の導波路アレイ15a側から平面導波路15bに向かうに従い導波路幅が広くされた導波路とする。この第1のテーパ導波路15dを設けると、設けない場合に比べて、第1の導波路アレイ15aと平面導波路15bとの結合損失を低減することができるので、好ましい。この第1のテーパ導波路15dの幅の変化具合等は、上記目的を考慮して設計する。

【0043】また、平面導波路15bは、詳細は後述するが、第1の導波路アレイ15aと相俟ってこの発明でいう第1の部分（第1の位相差付与特性を持つ部分）を構成する。さらにこの平面導波路15bは、第2の導波路アレイ15cと相俟って、この発明でいう第2の部分（第2の位相差付与特性を持つ部分）を構成する。

【0044】この平面導波路15bは、第1の入力導波路アレイ15aにより形成される平面波を伝搬できるものであれば、特に限定されない。例えば、平面形状が、四角形状または略四角形状の導波路とすることができる。

【0045】この平面導波路15bの、光が伝搬する方向に沿う長さ（図2中の横方向の寸法x）は、少なくとも、第1の導波路アレイ15aの各導波路15a1~15amからの各光が、第2の導波路アレイ15cの各導波路15c1~15cnに行き渡る様な長さとする。

【0046】この平面導波路15bは、基板11の材料等を考慮した任意の方法で形成出来る。これに限られないが、例えば、基板11の表層部に平面導波路15bの形状を持つ拡散導波路を形成する方法、または基板11

上に平面導波路15bの形状を持つ導波路を別途に形成する方法などである。

【0047】また、第2の導波路アレイ15cは、複数の導波路15c1~15cnで構成してある。これら各導波路15c1~15cnの一端を集光部17にピッチdで接続してあり、他端を平面導波路15bの第2端15b2に、第2のピッチP2で、接続してある。各導波路15c1~15cnは、好ましくは第2のテーパ導波路15eを介して、平面導波路15bの第2端15b2に、第2のピッチP2で、接続するのが良い（図3参照。詳細は後述する。）。

【0048】この第2の導波路アレイ15cによれば、第1の導波路アレイ15aから平面導波路15bに入力された光は、この第2の導波路アレイ15cに入る際に分配されるので、第2の導波路アレイ15cの各導波路15c1~15cnには、第2の分配光が伝搬する。

【0049】上記の第2のピッチP2は、この発明でいう位相差交換（詳細は後述する）の程度をどの程度にするかによって決める。ただし、既に説明したように、第2のピッチ $P2 < P1$ のピッチP1を満たすように、第2のピッチP2を決める。

【0050】さらにこの第2の導波路アレイ15cの導波路数N2は、好ましくは、第1の導波路アレイ15aの導波路数をN1としたとき、 $N1 \cdot P1 \leq N2 \cdot P2$ を満たす数とするのが良い。こうした方が、こうしない場合より、第1の導波路アレイ15aを出て平面導波路15bを伝搬してくる光をより多く受光できるからである。

【0051】この第2の導波路アレイ15cは、この発明でいう第3の部分（第3の位相差付与特性を持つ部分）を構成する。そのため、各導波路15c1~15cnを伝搬する光間に、この光の波長に応じて所定の位相差（第3の位相差付与特性に従う位相差。詳細は後述する）を与える。また、合波動作を確保する意味で、第2の導波路アレイ15cの各導波路15c1~15cnから平面導波路15bに光を入射した場合に、平面導波路に平面波が形成されるように、各導波路15c1~15cnの長さを設定するのが良い。

【0052】各導波路15c1~15cnを同一材料で構成する場合なら、各導波路15c1~15cnの長さ（物理的な長さ）を、後述するように所定の値 ΔL_2 ずつ違えれば、この第2の導波路アレイ15cを実現できる。

【0053】なお、各導波路15c1~15cnの長さは、これに限られないが、典型的には、集光部17の、出力導波路21が接続された端部の中央点Q2（図2、図7（B）参照）と、平面導波路15bの第2端15b2との間の長さで定義される。

【0054】この第2の導波路アレイ15cの各導波路15c1~15cnそれぞれは、基板11の材料等を考

慮した任意の方法で形成出来る。これに限られないが、例えば、基板11の表層部に各導波路15c1~15cnに相当する拡散導波路を形成する方法、または基板11上に各導波路15c1~15cnに相当する導波路を別途に形成する方法などである。

【0055】なお、第2のテーパ導波路15eを設ける場合、この第2のテーパ導波路15eは、第2の導波路アレイ15c側から平面導波路15bに向かうに従い導波路幅が広くされた導波路とする。この第2のテーパ導波路15eを設けると、設けない場合に比べて、第2の導波路アレイ15cと平面導波路15bとの結合損失を低減することができる。この第2のテーパ導波路15eの幅の変化具合等は、上記目的を考慮して設計する。

【0056】また、集光部17は、位相差付与部15で位相差が与えられた各分配光を波長に応じた位置に集光する手段である。この集光部17は、平面導波路、または光学レンズ等任意好適な手段で構成できる。ただし、好ましくは、平面導波路で集光部17を構成するのが良い。そうした方が、集光部17の設計が容易、位相差付与部15等との集積化が容易等の、利点が得られるからである。より好ましくは、この集光部17を、図7

(B)に示す様に、入力側および出力側それぞれの端部が半径R2で定義される円弧となっていて、然も、一方の円弧を規定する円の中心(図7(B)中のQ2やQ4)が他方の円弧上に位置するような、平面導波路とするのが良い。

【0057】この集光部17の、位相差付与部15が接続された側とは反対側に、複数の出力導波路21を接続してある。図示例では、第1~第3の出力導波路21a~21cを接続してある。勿論、出力導波路の本数はこれに限られない。

【0058】これら出力導波路21a~21cそれぞれは、集光部21の端部の、入力光を分波した光が集光する位置に、接続してある。

【0059】集光部17を平面導波路で構成する場合の該平面導波路、および、出力導波路21a~21cは、従来公知の任意の方法で形成することができる。例えば、基板11の表層部に平面導波路や出力導波路の形状を持つ拡散導波路を形成する方法、または基板11上に平面導波路の形状や出力導波路の形状を持つ導波路を別途に形成する方法などである。

【0060】次に、この第1の実施の形態の合分波素子10の理解を深めるために、該素子10の動作について、特に図3~図6を参照して説明する。なお、図3は平面導波路15bに着目した平面図、図4は平面導波路15bを伝搬する光の様子を説明する図、図5は、平面導波路15bと第2の導波路アレイ15cとの接続部分で位相差変換がなされる理由を説明する図、図6は位相差付与部15が持つ位相差付与特性を説明する図であ

る。

【0061】第1の導波路アレイ15aの各導波路15a1~15amの屈折率を n_1 とする。すると、各導波路15a1~15amそれぞれの光路長は、 $\Delta L_1 \cdot n_1$ ずつ異なることになる。例えば、導波路15a1から15amに向かって順に光路長は $\Delta L_1 \cdot n_1$ ずつ長くなっているとする。また、分配部13で分配された入力光(分配光)が、各導波路15a1~15amそれぞれに入力されているとする。然も、分配光の波長がある波長 λ_s の場合、各導波路15a1~15amから平面導波路15bに入力された各光31a、31b、31cで形成される波面33は、図4(A)に示した様に、平面導波路15bの長さ方向(図1のx方向)と直交する方向yに対して平行(すなわち分波光31a~31cの位相差が0)であるとする。

【0062】このような前提条件において、入力光の波長 λ が λ_s からずれて行くと、各導波路15a1~15amのうちの隣り合う導波路を伝搬する光間の位相差 $\Delta\phi_1$ は、 $\Delta\phi_1 = k_0 \cdot \Delta L_1 \cdot n_1 \cdot \dots (1)$ で与えられる位相差になる。そのため、上記波面33は、図4(B)や図3に示すようにy方向に対して傾いた波面になる。

【0063】なお、(1)式において、 k_0 は、波数であり、 $k_0 = 2\pi/\lambda$ で与えられる。また、 n_1 は既に説明した様に各導波路15a1~15amの屈折率である。

【0064】そして、上記 ϕ_1 が 2π になると、上記波面33は、y方向に対して再び平行になる(図4

(C))。すなわち、第1の導波路アレイ15aおよび平面導波路15cからなる部分では、位相差が第1の値(この例では 2π)になるまでは波長に応じた位相差を分配部13により分配された分配光間に付与し、かつ、該第1の値になると該位相差を0に戻す現象が次々の波長域で生じる。この様子を、図6に、模式的に、第1の位相差付与特性41として示した。

【0065】また、平面導波路15bを伝搬する光31a~31cは、次に、第2の導波路アレイ15cの各導波路15c1~15cnに入力する。従って、平面導波路15bを伝搬する光31a~31cは、第2の導波路アレイ15cの各導波路15c1~15cnに、第2の分配光として、分配される。

【0066】ところで、既に説明した様に、平面導波路15bに対する第1の導波路アレイ15aの各導波路15a1~15amの取り付けピッチを、第1のピッチP1としてあり、第2の導波路アレイ15cの各導波路15c1~15cnの取り付けピッチを、第2のピッチP2($P1 > P2$)としてある。

【0067】従って、平面導波路15bを伝搬している各光31a~31cが、第2導波路アレイ15cの各導波路15c1~15cnに入ると、図5に示した様に、

平面導波路15bにて各光31a~31c間で生じている位相差 $\Delta\phi 1$ は、第2の導波路アレイ15cでは、各導波路15c1~15cnを伝搬する光(すなわち第2の分配光)間の位相差 $\Delta\phi 1^*$ に変換される。すなわち、 $\Delta\phi 1^* = \Delta\phi 1 / r$ で与えられる位相差 $\Delta\phi 1^*$ に変換される。ただし、 $r = P1 / P2$ である。

【0068】また、既に説明した様に、第1の導波路アレイ15aから平面導波路15bに入った各光31a~31cで形成される波面33は、 $\Delta\phi 1$ が 2π になるとに元に戻る(y方向に平行になる)。従って、第2の導波路アレイ15cの各導波路15c1~15cnを伝搬する各光で形成される波面33*は、 $\Delta\phi 1^*$ が $2\pi / r$ になるとに元に戻る(y方向に平行になる)。そのため、平面導波路15bおよび第2の導波路アレイ15cからなる部分では、位相差が第1の値より小さい第2の値(この例では $-2\pi / r$)になるまでは波長に応じた位相差を第2の分配光間に付与し、かつ、該第2の値になると該位相差を0に戻す現象が次々の波長域で生じる。この様子を、図6に、模式的に、第2の位相差付与特性42として示した。

【0069】ここで、第2の位相差付与特性42中の、位相差が第2の値になる前までの位相差付与特性部分(図中の傾斜部分42a)と逆極性の特性を、前記第2の値を与える波長(図6では波数 k_1 に相当する波長)を充分越えてもなお示す第3の位相差付与特性43(図6参照)を、第2の導波路アレイ15cが持つ様に、第2の導波路アレイ15cを設計しておく。こうすると、第2の位相差付与特性42と、第3の位相差付与特性43との相互作用により、第2の導波路アレイ15cの隣接する導波路を伝搬する光間には、光の波長変化に対して階段状の位相差、すなわち図6に示すような第4の位相差付与特性44に従う位相差が付与される。

【0070】上記の第3の位相差付与特性43を持つ第2の導波路アレイ15cを実現するためには、これに限られないが、例えば、以下のようにすればよい。

【0071】第2の導波路アレイ15cの各導波路15c1~15cnの屈折率をそれぞれ $n2$ とする。各導波路15c1~15cnのそれぞれの長さを、15cnから15c1に向かうに従い $\Delta L2$ ずつ順に長くする。この第2の導波路アレイ15cによる第2の位相差付与特性42は、 $\Delta\phi 2 = k_0 \cdot \Delta L2 \cdot n2$ で与えられる。

【0072】第2の位相差付与特性42の傾斜部分42aの傾きと、第3の位相差付与特性43の傾きとを、係数が逆で同様な傾きにするためには、 $\delta\Delta\phi 2 / \delta k_0 = \Delta L2 \cdot n2 = \delta\phi 1 / r / \delta k_0 = \Delta L1 / r \cdot n1$ を満たせば良い。従って、 $\Delta L2 = \Delta L1 / r \cdot n1 / n2$ を満たすように、第2の導波路アレイ15cの各導波路15c1~15cnの長さを順に異ならせることで、目的とする第2の導波路アレイ15cを実現することができる。

【0073】第2の導波路アレイ15cの各導波路15c1~15cnから入力される光間の位相差が該光の波長変化に対して階段状の場合、同一位相差である波長範囲の光は、集光部17の端部の同一位置に集光される。このことは、集光部17の性質上当然生じるが、以下、その原理を簡単に説明する。

【0074】第2の導波路アレイ15cの各導波路15c1~15cnの一端を、集光部17としての平面導波路に、ピッチ d で取り付けてある(図2参照)。従って、集光部17の屈折率を $n3$ とすると、第2の導波路アレイ15cから集光部17に入力される光は、周知の通り、 $(2\pi m + \Delta\phi) / (k_0 \cdot d) = \theta$ で与えられる角度方向に偏向される。ただし、 $\Delta\phi$ は、図6に示した第4の位相差付与特性44に従い与えられる位相差である。これは、上記の $\Delta\phi 1$ および $\Delta\phi 2$ との関係で示すと、 $\Delta\phi = \Delta\phi 2 - \Delta\phi 1 / r$ で与えられる。

【0075】集光部17の中心軸上を進む光(すなわち上記の偏向角 θ が $\theta = 0$)を考えた場合、 $2\pi m + \Delta\phi = 0$ であるので、 $m = -\Delta\phi / 2\pi$ になる。

【0076】そこで、 $\theta = 0$ となる波数を k_{00} とし、そして、入力光の波数 k_0 を $k_0 = k_{00} + \Delta k_0$ で表すと、上記偏向角 θ は、詳細は省略するが、 $\theta = \Delta k_0 \cdot (\Delta L2 \cdot n2 - (\Delta L1 \cdot n5) / r) / (k_{00} \cdot d) = (\Delta k_0 / k_{00}^2) \Delta\phi$ となる。

【0077】この式からも分かる様に、 $\Delta\phi$ の傾きが0となる範囲、すなわち、図6中の同一位相差が付与される波数範囲では、角度 θ の k_0 に対する変化が無くなる。そのため、この波数範囲では、出力導波路群21中のある特定の出力導波路に光が出力される。

【0078】従って、この発明の合分波素子では、入力光の波長ずれが、図6の同一位相差が付与される波数範囲で生じるなら、例え波長ずれがあってもそれから分波された光は目的の出力導波路に安定に結合する。然も、従来技術で説明した様なパワー分散のない状態で結合する。これらのため、入力光の波長ずれに起因する光損失を防止することができる。

【0079】次に、上記の合分波素子10を設計する際の、特に、分配部13、集光部17、入力導波路19および出力導波路21を考慮した設計例について説明する。もちろん、この設計例はこの発明の範囲内の一例である。

【0080】分配部13(平面導波路)に対する、入力導波路19の取り付け角度ピッチを $\alpha 1$ とする。また、分配部13に対する、第1の導波路アレイ15aの各導波路15a1~15amの取り付け角度ピッチを $\alpha 2$ とする。

【0081】なお、これら取り付け角度ピッチ $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ とは、これに限られないが、この実施の形態の場合、次の様に定義される角度である。これについて、図

7 (A) を参照して説明する。

【0082】分配部である平面導波路13の、第1の導波路アレイ15a側の円弧上の任意の点Q3（典型的には円弧の中心点）から、入力導波路19側に放射状に仮想線51を角度 $\alpha 1$ ずつずらして引いて、この各仮想線51に沿って入力導波路19の端部を平面導波路13に取り付ける。このような、角度 $\alpha 1$ を、取り付け角度ピッチ $\alpha 1$ とする。また、平面導波路13の、入力導波路19側の円弧上の任意の点Q1（典型的には円弧の中心点）から、第1の導波路アレイ15a側に放射状に仮想線53を角度 $\alpha 2$ ずつずらして引いて、この各仮想線53に沿って第1の導波路アレイ15aの各導波路15a1～15amの端部を平面導波路13に取り付ける。このような、角度 $\alpha 2$ を、取り付け角度ピッチ $\alpha 2$ とする。

【0083】このように取り付け角度ピッチを設定した構造であると、第1の導波路アレイ15aの隣接する導波路を伝搬する光間に、 $\Delta \phi 1 = R1 \cdot \alpha 1 \cdot \alpha 2 \cdot S1$ で定義される位相差が生じる。この理由は、文献2（IEEE Photonics Technology Letters Vol.3, No. 9, 813 頁（1991年9月））に記載されているので、その説明を省略する。なお、R1は平面導波路13の入力側および出力側の円弧を規定している半径である。S1は入力導波路19の番号（端の導波路の番号を0としたときの各入力導波路の番号）である。

【0084】この位相差 $\Delta \phi 1$ は、第1の導波路アレイ15a、平面導波路15bおよび第2の導波路アレイ15cで構成される部分が持つ上述した機能によって、 $\Delta \phi 1^* = \Delta \phi 1 / r = R1 \cdot \alpha 1 \cdot \alpha 2 \cdot S1 / r$ へ変換される。

【0085】一方、集光部17（平面導波路）に対する、出力導波路21a～21cの取り付け角度ピッチを $\alpha 3$ とする。また、集光部17に対する、第2の導波路アレイ15cの各導波路15c1～15cnの取り付け角度ピッチを $\alpha 4$ とする。

【0086】これら取り付け角度ピッチ $\alpha 3$ 、 $\alpha 4$ とは、これに限られないが、この実施の形態の場合、次の様に定義される角度である。これについて、図7（B）を参照して説明する。

【0087】平面導波路17の、第2の導波路アレイ15c側の円弧上の任意の点Q4（典型的には円弧の中心点）から、出力導波路21側に放射状に仮想線55を角度 $\alpha 3$ ずつずらして引いて、この各仮想線55に沿って出力導波路21a～21cの端部を平面導波路17に取り付ける。このような、角度 $\alpha 3$ を、取り付け角度ピッチ $\alpha 3$ とする。また、平面導波路17の、出力導波路21側の円弧上の任意の点Q2（典型的には円弧の中心点）から、第2の導波路アレイ15c側に放射状に仮想線57を角度 $\alpha 4$ ずつずらして引いて、この各仮想線57に沿って第2の導波路アレイ15aの各導波路15c

1～15cnの端部を平面導波路17に取り付ける。このような、角度 $\alpha 4$ を、取り付け角度ピッチ $\alpha 4$ とする。

【0088】このように取り付け角度ピッチを $\alpha 3$ および $\alpha 4$ に設定した構造であると、第2の導波路アレイ15cの隣接する導波路を伝搬する光間に、 $\Delta \phi 2 = R2 \cdot \alpha 3 \cdot \alpha 4 \cdot S2$ で定義される位相差が生じる。この理由は、上記文献2に記載されているので、その説明を省略する。なお、R2は平面導波路17の入力側および出力側の円弧を規定している半径である。S2は出力導波路21の番号（端の導波路を0としたときの各出力導波路の番号）である。

【0089】入力導波路19、出力導波路21等を図7を用いて説明した様に平面導波路13、17に取り付けた場合であって、使用する導波路が、入力導波路19a～19cと、出力導波路21a～21cとで、1つずつ違ったときの（例えば、入力導波路19aを使用し、出力導波路21bを使用するときの）、上記 $\Delta \phi 1^*$ の変分 $\delta \Delta \phi 1^*$ と上記 $\Delta \phi 2$ の変分 $\delta \Delta \phi 2$ とが同一とすれば、使用する入力導波路19を1つ隣の入力導波路に移すと、出力導波路21も1つ隣の導波路に移る。従って、この合分波素子10に、波長ルータとしての機能を持たせることができる。

【0090】また、次のようなこともいえる。上記変換された位相差 $R1 \cdot \alpha 1 \cdot \alpha 2 \cdot S1 / r$ と、第2の導波路アレイ15cの導波路間を伝搬する光間の位相差 $R2 \cdot \alpha 3 \cdot \alpha 4 \cdot S2$ とは、上記の変分同士が、 $\delta \Delta \phi 1^* = \delta \Delta \phi 2$ の関係を持つとすると、 $R1 \cdot \alpha 1 \cdot \alpha 2 / r = R2 \cdot \alpha 3 \cdot \alpha 4$ となる。

【0091】ここで、第1の導波路アレイ15aの各導波路15a1～15amを平面導波路13に取り付ける取り付けピッチと、第2の導波路アレイ15cの各導波路15c1～15cnを平面導波路17に取り付ける取り付けピッチとを、いずれもdとし、入力導波路19a～19cを平面導波路13に取り付ける取り付けピッチと、出力導波路21a～21cを平面導波路17に取り付ける取り付けピッチとを、いずれもDとすると、取り付け角度ピッチ $\alpha 1$ は $\alpha 1 = D / R1$ 、取り付け角度ピッチ $\alpha 2$ は $\alpha 2 = d / R1$ 、取り付け角度ピッチ $\alpha 3$ は $\alpha 3 = D / R2$ 、取り付け角度ピッチ $\alpha 4$ は $\alpha 4 = d / R2$ と、それぞれ近似できる。

【0092】そのため、これら取り付け角度ピッチを与える式を、上記の $R1 \cdot \alpha 1 \cdot \alpha 2 / r = R2 \cdot \alpha 3 \cdot \alpha 4$ の式に代入すると、 $R1 / r = R2$ が得られる。従って、第1の導波路アレイ15aの各導波路15a1～15amを平面導波路13に取り付ける取り付けピッチと、第2の導波路アレイ15cの各導波路15c1～15cnを平面導波路17に取り付ける取り付けピッチとを、いずれもdとし、入力導波路19a～19cを平面導波路13に取り付ける取り付けピッチと、出力導波路

21a～21cを平面導波路17に取り付ける取り付けピッチとを、いずれもDとする場合は、集光部17を構成する平面導波路の半径R2を、分配部13を構成する平面導波路の半径R1に対して、r倍大きくする必要があることがわかる。

【0093】これに対して、図8に示した様に、分配部13を構成する平面導波路の入力側および出力側の円弧を規定する半径R1（詳細は図7参照）と、集光部17を構成する平面導波路の入力側および出力側の円弧を規定する半径R2（詳細は図7参照）とを同じにする場合は、次のような点に留意する。

【0094】 $R1=R2$ とする場合、上記 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ を $\alpha 1=D1/R2$ 、 $\alpha 2=d1/R2$ と置き、これら $\alpha 1=D1/R2$ 、 $\alpha 2=d1/R2$ と、上記の $\alpha 3=D/R2$ 、 $\alpha 4=d/R2$ とを、上記の $R1 \cdot \alpha 1 \cdot \alpha 2 / r = R2 \cdot \alpha 3 \cdot \alpha 4$ の式に代入する。ただし、この代入される式中のR1をR2に置き換える。すると、 $D1d1/(R2 \cdot r) = Dd/R2$ となる。そのため、 $D1d1 = Dd \cdot r$ を得る。なお、d1は、 $R1=R2$ とする場合の、平面導波路13への各導波路15a1～15amの取り付けピッチである（図8参照）。また、D1は、 $R1=R2$ とする場合の、平面導波路17への出力導波路21a～21cの取り付けピッチである（図8参照）。

【0095】これは、 $R1=R2$ とし、かつ、 $D1=D$ とする場合は、 $d1=d \cdot r$ となることを意味する。従って、 $R1=R2$ とし、かつ、 $D1=D$ とする場合は、第1の導波路アレイ15aの各導波路15a1～15amを平面導波路13に取り付けるピッチd1を、第2の導波路アレイ15cの各導波路15c1～15cnを平面導波路17に取り付けるピッチdの、r倍にする必要があることを示している。

【0096】このことは、 $R1=R2$ とすると、第2の導波路アレイ15cと集光部17とから成る構造によって、第1の導波路アレイ15aの導波路数を間引けることを意味する。ただし、 $R1=R2$ とする場合、分配部13から第1の導波路アレイ15aの各導波路15a1～15amに光が入るときの損失を低減する意味で、図8に示した様に、テーパ導波路59を設けるのが好ましい。ただし、このテーパ導波路59は、第1の導波路アレイ15a側から分配部13側に向かうに従い導波路幅が適正に広くされた導波路である。

【0097】2. 第2の実施の形態

次に、第2の実施の形態について説明する。図9は、第2の実施の形態の合分波素子の、特に位相差付与部15に着目した平面図である。

【0098】上述した第1の実施の形態では、第1の導波路アレイ15aの各導波路15a1～15amそれぞれの少なくとも平面導波路側の端部（実際には第1テーパ導波路15d）が、互いに平行になるように、か

つ、平面導波路の第1端15b1に垂直になるように、これら端部を、平面導波路15bの第1端15b1に取り付けていた。

【0099】これに対して、この第2の実施の形態では、図9に示した様に、第1の導波路アレイ15aの各導波路15a1～15amそれぞれの端部61を、平面導波路15bの第2端15b2側に設定した任意の1点Q5から平面導波路15bの第1端15b1に向かって放射状に伸びる複数の仮想直線63に沿うように、第1端15b1に取り付けてある。

【0100】第1テーパ導波路15dを用いる場合なら（図9はこの例である）、第1テーパ導波路15d自体も、上記仮想直線63に沿うように、平面導波路15bの第1端15b1に取り付ける。

【0101】上記の任意の1点Q5は、この実施の形態では、第2端15b2上であって平面導波路15bのy方向における中心点（その近傍も含む）としてある。

【0102】なお、各導波路15a1～15amの端部61とは、光結合損失などを考慮して設計に応じて決められる領域である。

【0103】この第2の実施の形態の場合、第1の導波路アレイ15aの各導波路15a1～15amそれぞれから出射される光の分布を、点Q5を中心にして、そろえることができる。そのため、第1の導波路アレイ15aの各導波路15a1～15amそれぞれから出射される光を、第2の導波路アレイ15cの各導波路15c1～15cn全てに容易に行き渡らせることができる。この第2の実施の形態の場合、平面導波路アレイ15bのx方向の寸法を、第1の実施の形態に比べて半分程度に短縮することができる。

【0104】なお、この第2の実施の形態の場合も、第1の導波路アレイ15aの各導波路15a1～15amから平面導波路15bに入る光によって平面導波路に平面波が形成されるように、各導波路15a1～15amの長さを設定する。

【0105】また、この第2の実施の形態の思想は、第2の導波路アレイ15cの各導波路15c1～15cnを平面導波路15bに取り付ける場合にも適用できる。その場合は、第2の導波路アレイ15cの各導波路15c1～15cnそれぞれの端部を、平面導波路15bの第1端15b2側に任意に設定した1点Q6から平面導波路15bの第2端15b2に向かって放射状に伸びる複数の仮想直線（図示せず）に沿うように、第2端15b2に取り付けられれば良い（図示せず）。

【0106】また、第2テーパ導波路15eを用いる場合なら、第2テーパ導波路15e自体も、第2の導波路アレイ15cの各導波路と同様に上記の仮想直線（図示せず）に沿うように、平面導波路15bの第2端15b2に取り付けられれば良い。

【0107】なお、第2の導波路アレイ15cや第2の

テーパ導波路 15e に対して、上記の様な放射状取り付け構造を採用する場合も、第 2 の導波路アレイ 15c の各導波路 15c1 ~ 15cn から平面導波路 15b に入った光によって平面導波路に平面波が形成されるように、各導波路 15c1 ~ 15cn の長さを設定するのが良い。合波動作を確保するためである。

【0108】3. 第 3 の実施の形態

上述した第 1 および第 2 の実施の形態では、第 1 の導波路アレイを伝搬した光により平面導波路 15b に平面波を形成し、そして、平面導波路 15b と第 2 の導波路アレイとの接続部分で位相差変換をしていた。しかし、第 1 の導波路アレイを伝搬した光により平面導波路 15b に球面波を形成し、そして、平面導波路 15b と第 2 の導波路アレイとの接続部分で位相差変換をすることもできる。この第 3 の実施の形態は、その例である。

【0109】図 10 は、この第 3 の実施の形態の合分波素子 70 の構成を概略的に示した図である。詳細には、合分波素子 70 を、これが作り込まれた基板 11 の上方から見た平面図である。また、図 11 は、この第 3 の実施の形態の好ましい例を説明する図である。

【0110】この合分波素子 70 は、基板 11 に、分配部 13 と、位相差付与部 71 と、集光部 17 とをこの順に具える。また、分配部 13 の、位相差付与部 71 とは反対側に、1 以上の入力導波路 19 を具え、集光部 17 の、位相差付与部 71 とは反対側に複数の出力導波路 21 を具える。

【0111】基板 11、分配部 13、集光部 17 および出力導波路 21 は、例えば、第 1 の実施の形態で説明した構成と同じ構成とできる。

【0112】位相差付与部 71 は、第 1 の導波路アレイ 71a と、平面導波路 71b と、第 2 の導波路アレイ 71c とを含む位相差付与部としてある。

【0113】第 1 の導波路アレイ 71a は、複数の導波路 71a1 ~ 71am で構成してある。これら各導波路 71a1 ~ 71am の一端を分配部 13 に接続してあり、他端を平面導波路 71b の第 1 端 71b1 に、所定ピッチで接続してある。これら各導波路 71a1 ~ 71am は、好ましくは第 1 のテーパ導波路 71d を介して、平面導波路 71b の第 1 端 71b1 に接続するのが良い (図 11 参照。詳細は後述する。)。

【0114】この第 1 の導波路アレイ 71a は、各導波路 71a1 ~ 71am を伝搬する光間に、この光の波長に応じた位相差 (詳細は後述する) を与え、かつ、平面導波路 71b に球面波を形成する導波路アレイである。

【0115】各導波路 71a1 ~ 71am を同一材料で構成する場合なら、各導波路 71a1 ~ 71am の長さ (物理的な長さ) を、これら導波路 71a1 ~ 71am それぞれから出る分配光によって平面導波路 71b に球面波が形成される様に、違えることで、この第 1 の導波路アレイ 71a を実現できる。球面波として、第 2 の導

波路アレイ 71c 側が凸になった球面波が形成される様にする。

【0116】なお、各導波路 71a1 ~ 71am の長さは、これに限られないが、典型的には、第 1 の実施の形態の各導波路 15a1 ~ 15am と同様に、定義される長さである。

【0117】この第 1 の導波路アレイ 71a の各導波路 71a1 ~ 71am それぞれは、基板 11 の材料等を考慮した任意の方法で形成出来る。これに限られないが、例えば、基板 11 の表層部に各導波路 71a1 ~ 71am に相当する拡散導波路を形成する方法、または基板 11 上に各導波路 71a1 ~ 71am に相当する導波路を別途に形成する方法などである。

【0118】なお、第 1 のテーパ導波路 71d を設ける場合、この第 1 のテーパ導波路 71d は、第 1 の導波路アレイ 71a 側から平面導波路 71b に向かうに従い導波路幅が広くされた導波路とする。この第 1 のテーパ導波路 71d を設けると、設けない場合に比べて、第 1 の導波路アレイ 71a と平面導波路 71b との結合損失を低減することができるので、好ましい。この第 1 のテーパ導波路 71d の幅の変化具合等は、上記目的を考慮して設計する。

【0119】また、平面導波路 71b は、詳細は後述するが、第 1 の導波路アレイ 71a と相俟ってこの発明でいう第 1 の部分 (第 1 の位相差付与特性を持つ部分) を構成する。さらにこの平面導波路 71b は、第 2 の導波路アレイ 71c と相俟って、この発明でいう第 2 の部分 (第 2 の位相差付与特性を持つ部分) を構成する。

【0120】この平面導波路 71b は、球面波を伝搬できれば任意の形状とすることができる。例えば、平面形状が四角形状または略四角形状の導波路とすることができる。

【0121】この平面導波路 71b は、基板 11 の材料等を考慮した任意の方法で形成出来る。これに限られないが、例えば、基板 11 の表層部に平面導波路 71b の形状を持つ拡散導波路を形成する方法、または基板 11 上に平面導波路 71b の形状を持つ導波路を別途に形成する方法などである。

【0122】また、第 2 の導波路アレイ 71c は、複数の導波路 71c1 ~ 71cn で構成してある。これら各導波路 71c1 ~ 71cn の一端を集光部 17 に接続してあり、他端を平面導波路 71b の第 2 端 71b2 に、所定ピッチで接続してある。これら各導波路 71c1 ~ 71cn は、好ましくは第 2 のテーパ導波路 71e を介して、平面導波路 71b の第 2 端 71b2 に接続するのが良い (図 11 参照。詳細は後述する。)。

【0123】これら各導波路 71c1 ~ 71cn の平面導波路 71b への接続ピッチ (取り付けピッチ) は、第 1 の導波路アレイ 71a の各導波路 71a1 ~ 71am の平面導波路 71b への接続ピッチ (取り付けピッチ)

と同じでも異なっても良い。

【0124】この第2の導波路アレィ71cは、この発明でいう第3の部分（第3の位相差付与特性を持つ部分）を構成する。そのため、この第2の導波路アレィ71cの各導波路71c1～71cnを伝搬する光間に、この光の波長に応じて所定の位相差（第3の位相差付与特性に従う位相差）を与える。

【0125】各導波路71c1～71cnを同一材料で構成する場合なら、各導波路71c1～71cnの長さ（物理的な長さ）を所定の値 ΔL 2ずつ違えば、この第2の導波路アレィ71cを実現できる。

【0126】なお、各導波路71c1～71cnの長さは、これに限られないが、典型的には、第1の実施の形態での導波路15c1～15cnと同様に定義される長さである。

【0127】この第2の導波路アレィ71cの各導波路71c1～71cnそれぞれは、基板11の材料等を考慮した任意の方法で形成出来る。これに限られないが、例えば、基板11の表層部に各導波路71c1～71cnに相当する拡散導波路を形成する方法、または基板11上に各導波路71c1～71cnに相当する導波路を別途に形成する方法などである。

【0128】なお、第2のテーパ導波路71eを設ける場合は、この第2のテーパ導波路71eは、第2の導波路アレィ71c側から平面導波路71bに向かうに従い導波路幅が広くされた導波路とする。この第2のテーパ導波路71eを設けると、設けない場合に比べて、第2の導波路アレィ71cと平面導波路71bとの結合損失を低減することができる。この第2のテーパ導波路71eの幅の変化具合等は、上記目的を考慮して設計する。

【0129】次に、この第3の実施の形態の合分波素子70の理解を深めるために、該素子70の動作について、特に図12と、第1の実施の形態で参照した図4および図6とを参照して説明する。なお、図12は、平面導波路71bを伝搬する光の様子を説明する図である。

【0130】図12に示した様に、第1の導波路アレィ71aの各導波路71a1～71amを伝搬した各光によって、平面導波路71bに球面波73が生じる。この球面波73に垂直になるように、第2の導波路アレィ71cの両端の導波路71c1、71cnから、球面波73に向かって、直線75aおよび75bをそれぞれ引く。

【0131】これら直線75a、75bで囲まれた範囲内の第1導波路アレィで生じる球面波73aを考える。この球面波73aは、平面導波路71bを伝搬してこの平面導波路71bの第2端71b2に至ると、第2の導波路アレィ71cの各導波路71c1～71cnに行き渡る。

【0132】この球面波73aの波面は、合分波素子7

0への入力光の波長がずれると傾く。この傾いた球面波を、図12中73bとして示す。入力光の波長がある波長 λa および λb のときそれぞれの球面波を上記の73a、73bとする。そして、これら球面波73a、73b間の位相差を $\Delta\phi x$ （図12参照）とする。この位相差 $\Delta\phi x$ は、平面導波路71bの第2端においても保存される。

【0133】また、入力光の波長の変化に伴い上記球面波73aの波面は、第1の実施の形態にて図4を参照して説明したと同様に、平面導波路71bの光が主として進む方向と直交する方向（図12のy方向）に対して、ずれてゆく。そして、第1の導波路アレィ71aの隣接する導波路を伝搬する光間の位相差が 2π になる毎に、位相差は0に戻る。すなわち、図6を用いて説明した第1の位相差付与特性に従い位相差が変化する。

【0134】ところで、第1の導波路アレィ71aの、直線75aおよび75b囲まれた領域内の導波路数を $N11$ とした場合、これら $N11$ 本の導波路中の隣接する導波路間で生じる位相差を $\Delta\phi 1$ とすると、 $\Delta\phi 1 = \Delta\phi x / N11$ である。また、第2の導波路アレィ71cの導波路数を $N2$ とした場合、この第2の導波路アレィ71c内の隣接する導波路間で生じる位相差を $\Delta\phi 2$ とすると、 $\Delta\phi 2$ は、 $\Delta\phi 2 = \Delta\phi x / N2$ である。

【0135】すると、 $\Delta\phi 2 = \Delta\phi 1 \cdot N11 / N2 = \Delta\phi 1 \cdot q$ と書き直すことができる。ただし、 $q = N11 / N2$ である。

【0136】従って、直線75aおよび75bで囲まれた領域内の導波路のうちの、隣接する導波路を伝搬していた光間で生じていた位相差 $\Delta\phi 1$ は、第2の導波路アレィ71cの各導波路によって、 $N11 / N2$ （ $N11 < N2$ ）だけ低減される。すなわち、平面導波路71bおよび第2の導波路71cからなる部分は、位相差変換の機能を示す（第2の位相差付与特性を持つ部分になる）。従って、第2の導波路アレィ71cの隣接する導波路を伝搬する光間の位相差が $2\pi / q$ になる毎に、該位相差は0に戻る。すなわち、図6を用いて説明した第2の位相差付与特性に従い位相差が変化する。

【0137】このようなとき、第2の導波路アレィ71cとして、図6を用いて説明した第3の位相差付与特性を持つ導波路アレィを用意しておくと、この第2の実施の形態の合分波素子の位相差付与部71でも、入力光の波長変化に対して階段状に位相差を付与できる。

【0138】従って、この第3の実施の形態の合分波素子70でも、入力光の波長ずれが、図6の同一位相差が付与される波数範囲で生じるなら、例え波長ずれがあってもそれから分波された光は目的の出力導波路に安定に結合する。然も、従来技術で説明した様なパワー分散のない状態で結合する。これらのため、入力光の波長ずれに起因する光損失を防止することができる。

【0139】4. 第4の実施の形態

次に、第4の実施の形態について説明する。この第4の実施の形態の合分波素子は、第3の実施の形態の合分波素子70の変形例に相当する。図13は、この第4の実施の形態の合分波素子の、特に位相差付与部71に着目した平面図である。

【0140】上述した第3の実施の形態では、第1の導波路アレイ71aの各導波路71a1～71amそれぞれの少なくとも平面導波路側の端部（実際には第1のテーパ導波路71d）が、互いに平行になるように、かつ、平面導波路の第1端71b1に垂直になるように、これら端部を、平面導波路71bの第1端71b1に取り付けていた。然も、好適例（図12）では、第2の導波路アレイ71cの各導波路71c1～71cnそれぞれの少なくとも平面導波路側の端部（実際には第2のテーパ導波路71e）が、互いに平行になるように、かつ、平面導波路の第2端71b2に垂直になるように、これら端部を、平面導波路71bの第2端71b2に取り付けていた。

【0141】これに対して、この第4の実施の形態では、図13に示した様に、第1の導波路アレイ71aの各導波路71a1～71amそれぞれの端部81を、平面導波路71bの第2端71b2側に設置した任意の1点Q7から平面導波路71bの第1端71b1に向かって放射状に伸びる複数の仮想直線83に沿うように、第1端71b1に取り付けてある。

【0142】第1のテーパ導波路71dを用いる場合なら（図13はこの例である）、第1のテーパ導波路71d自体も、上記仮想直線83に沿うように、平面導波路71bの第1端71b1に取り付ける。

【0143】上記の1点Q7は、例えば、第2の導波路アレイ71cから平面導波路に光が入射されたときに生じる波面の波面中心（その近傍も含む）、または、第2端71b2の中心点（その近傍も含む）とする。

【0144】なお、各導波路71a1～71amの端部81とは、光結合損失などを考慮して設計に応じて決められる領域である。

【0145】この第4の実施の形態の場合、第1の導波路アレイ71aの各導波路71a1～71amそれぞれから出射される光を、第2の導波路アレイ71cの中心に向かわせることができる。そのため、第1の導波路アレイ71aの端に当たる導波路の光も無駄なく第2の導波路アレイに入力させることができる。

【0146】また、この第4の実施の形態の思想は、第2の導波路アレイ71cの各導波路71c1～71cnを平面導波路71bに取り付ける場合にも適用できる。その場合は、第2の導波路アレイ71cの各導波路71c1～71cnそれぞれの端部を、平面導波路71bの第1端71b2側に任意に設定した1点Q8から平面導波路71bの第2端71b2に向かって放射状に伸びる複数の仮想直線85に沿うように、第2端71b2に取

り付ければ良い。

【0147】また、第2のテーパ導波路71eを用いる場合なら、第2のテーパ導波路71e自体も、第2の導波路アレイ71cの各導波路と同様に上記の仮想直線85に沿うように、平面導波路71bの第2端71b2に取り付ければ良い。

【0148】なお、図13を用いて説明した合分波素子の例では、平面導波路71bの第2端71b2の中心点（然も第2導波路アレイ71cと平面導波路71bとの境界）に、点Q7を設定したが、点Qを平面導波路71bの中に置くことも可能である。

【0149】5. 第5の実施の形態

次に第5の実施の形態について説明する。この第5の実施の形態の合分波素子は、第3の実施の形態の他の変形例に相当する。図14は、この第5の実施の形態の合分波素子の、特に位相差付与部91に着目した平面図である。

【0150】この第5の実施の形態の合分波素子の位相差付与部91は、第1の導波路アレイ91aと、平面導波路91bと、第2の導波路アレイ91cとを含む。

【0151】第1の導波路アレイ91aは、複数本（N1本）の導波路91a1～91amを持つ。そして、これら導波路91a1～91amは、平面導波路91bの第1端91b1にピッチp11で取り付けられている。

【0152】また、第2の導波路アレイ91cは、複数本（N2本）の導波路91c1～91cnを持つ。ただし、 $N1 = N2$ の場合、 $N1 \neq N2$ の場合、いずれでも良い。これら導波路91c1～91cnは、平面導波路91bの第2端91b2にピッチp22で取り付けられている。

【0153】然も、これら第1および第2の導波路アレイ91a、91cは、 $N1 \cdot p11 \neq N2 \cdot p22$ （具体的には、 $N1 \cdot p11 < N2 \cdot p22$ を満たし、かつ、前記平面導波路91bに光を入力するときこの平面導波路91b内の共通な1点fを焦点とする球面波を形成するよう設計してある。

【0154】また、この第5の実施の形態では、第1の導波路アレイ91aのN1本の導波路91a1～91amの端部は、焦点fから平面導波路91bの第1端91b1に向かって放射状に伸びる複数の第1仮想直線93に沿うように、第1端91b1に取り付けてある。また、第2の導波路アレイ91cのN2本の導波路91c1～91cnの端部は、焦点fから平面導波路91bの第2端91b2に向かって放射状に伸びる複数の第2仮想直線95に沿うように、第2端91b2に取り付けてある。

【0155】この第5の実施の形態の合分波素子の場合、第1の導波路アレイ91aで生じる球面波97aは、この導波路アレイ91aの各導波路間で位相差が生じた場合、最大で ϕ の変位をする。この変位した球面波

を、図14中に、97bとして示す。

【0156】第1の導波路アレイ91aで生じる球面波97aや97bは、平面導波路91bの第2端91b2側に伝搬する。この伝搬した球面波を、図14中に、99a、99bとして示す。従って、上記の変位 ϕ は、平面導波路91bの第2端側で同じく生じる。

【0157】ここで、第1の導波路アレイ91aのN1本の導波路91a1～91amのピッチがp11であるので、第1の導波路アレイ91aでの単位位相差 $\Delta\phi 1$ は、 $\Delta\phi 1 = \phi / N1p11$ と表すことができる。また、第2の導波路アレイ91cのN2本の導波路91c1～91cnのピッチがp22であるので、上記の位相差 $\Delta\phi 1$ は、第1の導波路アレイ91aから平面導波路91bを経て第2の導波路アレイ91cに入ると、 $\Delta\phi 2 = \phi / N2p22$ に変換される。

【0158】従って、これら $\Delta\phi 1$ および $\Delta\phi 2$ の両式を整理すると、 $\Delta\phi 1 = \Delta\phi 2 \cdot (N2p22 / N1p11)$ と表せる。これを変形すると、 $\Delta\phi 2 = \Delta\phi 1 / (N2p22 / N1p11)$ と表せる。そして、 $(N2p22 / N1p11) = q$ とおくと、 $\Delta\phi 2 = \Delta\phi 1 / q$ となる。すなわち、第3の実施の形態と同様に、位相差変換が生じる。

【0159】また、この第5の実施の形態の場合、第1の導波路アレイ91aに依存する焦点距離をf1と表し、第2の導波路アレイ91cに依存する焦点距離をf2と表すとすると(図14参照)、 $(N2p22 / N1p11) = f2 / f1 = q$ とも表すことができる。これらから分かるように、p11とp22との比によって、qの値の微調整が行えることが理解できる。

【0160】この第5の実施の形態の合分波素子の場合も、第3の実施の形態の合分波素子と同様な効果を得ることができる。また、この第5の実施の形態の場合、第1および第2のテーパ導波路71d、71e(図11参照)を設けずに済むという効果も得られる。

【0161】6. その他の実施の形態

上述の各実施の形態では、分配部を平面導波路により構成する例を説明した。しかし、分配部を平面導波路以外の他の任意のもので構成することができる。以下にいくつかの例を説明する。

【0162】図15(A)および(B)は、分配部を平面導波路以外のものでも構成した第1の例を説明する図である。具体的には、分配部を多モード導波路カプラ(以下、MMI)で構成した合分波素子100の例である。また、分配部をMMIで構成することに対応して、位相差付与部151を、後述する様な、第1の導波路アレイ151aと、平面導波路151bと、第2の導波路アレイ151cとを含む位相差付与部としてある。なお、この例の場合も、第1の実施の形態で第1のテーパ導波路15dを設けたのと同様な理由で、第1の導波路アレイ151aの各導波路を、第1のテーパ導波路151dを

介して、平面導波路151bに接続してある。

【0163】第1の導波路アレイ151aは、基本的には、第1の実施の形態で説明した機能、または、第3の実施の形態で説明した機能を持つ。ただし、MMIに応じた設計をする。

【0164】MMIに応じた設計の第1の導波路アレイ151aとは、簡単にいえば次のようなものである。MMIで分配された分波光間の位相関係は、MMIの原理上、複雑になる。そこで、第1の実施の形態または第3の実施の形態で第1の導波路アレイが付与したと同様な位相差を、MMIで分配された分配光間に付与できるように、この第1の導波路アレイ151aを設計する。このような導波路アレイ151aは、公知の技術で実現できるので、その説明をここでは省略する。

【0165】この図15(A)を用いて説明した構造を第1の実施の形態の合分波素子に適用する場合は、導波路151a1～151amのうちの光路長が短い順(長い順)に、平面導波路151bのy方向の一端から他端に向かって、接続する。また、この図15(A)を用いて説明した構造を第3の実施の形態に適用する場合は、これら導波路151a1～151amを、平面導波路151bに、上記の球面波を生じさせることができる様に、接続する。

【0166】また、平面導波路151bおよび第2の導波路アレイ151cそれぞれは、第1の実施の形態で説明したもの、または、第3の実施の形態で説明したもので構成することができる。

【0167】この実施の形態の合分波素子100では、分配部をMMIとしたので、他の実施の形態に比べて、分配光の均一性が高まる。

【0168】なお、図15(B)に示した様に、図15(A)を用いて説明した構成において、集光部を第2の多モード導波路カプラ(第2のMMI)133に変更し、かつ、第2の導波路アレイをこの第2のMMI133に応じた設計の導波路アレイ135に変更しても良い。こうすると、MMI型の波長ルータを実現することも可能になる。

【0169】図16は、分配部を平面導波路以外のものでも構成した第2の例を説明する図である。具体的には、分配部231を複数のマッハツェンダ型回路231a～231cで構成した例を説明する図である。また、分配部を複数のマッハツェンダ型回路231a～231cで構成することに対応して、位相差付与部251を、後述する様な、第1の導波路アレイ251aと、平面導波路251bと、第2の導波路アレイ251cとを含む位相差付与部としてある。なお、この例の場合も、第1の実施の形態で第1のテーパ導波路15dを設けたのと同様な理由で、第1の導波路アレイ251aの各導波路を、第1のテーパ導波路251dを介して、平面導波路251bに接続してある。

【0170】複数のマッハツェンダ型回路231a～231c各々は、カプラ235と長さの異なる2本の導波路237a、237bを含んでいる。

【0171】第1のマッハツェンダ型回路231aのカプラ235に入力導波路19を接続する。この第1のマッハツェンダ型回路231aの2本の導波路237a、237bのうちの一方に第2のマッハツェンダ型回路231bのカプラ235を接続し、他方に第3のマッハツェンダ型回路231cのカプラ235を接続するという具合に、ツリー状に複数のマッハツェンダ型回路を接続する。このツリーの最終段の各マッハツェンダ型回路231b、231cの各導波路237a～237bを、位相差付与部251の第1の導波路アレイ251aとして用いる。

【0172】最終段の各マッハツェンダ型回路231b、231cの各導波路237a～237bは、異なる位相差が与えられるように設計する。

【0173】この図16を用いて説明した構造を第1の実施の形態の合分波素子に適用する場合は、最終段の各マッハツェンダ型回路の各導波路237a～237bのうちの光路長が短い順(長い順)に、平面導波路251bのy方向の一端から他端に向かって、接続する。また、この図16を用いて説明した構造を第3の実施の形態に適用する場合は、最終段の各マッハツェンダ型回路の各導波路237a～237bを、平面導波路251bに、上記の球面波を生じさせることができる様に、接続する。

【0174】この図16を用いて説明した例の場合、分配部をマッハツェンダ型回路としたので、入力導波路19と平面導波路251bとで挟まれる部分の長さを、他の実施の形態に比べて短くすることができる。

【0175】

【発明の効果】上述した説明から明らかなようにこの出願の合分波素子の発明によれば、入力光を2以上に分配する分配部と、この分配部で分配された分配光間に、入力光の波長に応じて、位相差を与える位相差付与部と、この位相差が与えられた2以上の分配光を集光する集光部とを具える。然も、この位相差付与部として、入力光の波長変化に対して分配光間の位相差を階段状に与える位相差付与部を具える。そのため、例えば、入力光の波長が第nの波長 λ_n 以上第n+1の波長 λ_{n+1} 未満の間では、各分配光によって形成される波面は同じになる。従って、入力光として、波長が第nの波長 λ_n 以上第n+1の波長 λ_{n+1} 未満の間でずれたとしても、入力光を同一集光位置に集光できる。そのため、この範囲での波長ずれに起因する伝送損失を防止できる。入力光として波長多重光を用いる場合は、第1の入力光として、波長が例えば $(\lambda_1 + \lambda_2)/2$ の光を用い、第2の入力光として、波長が例えば $(\lambda_2 + \lambda_3)/2$ の光を用い、第3の入力光として、波長が例えば $(\lambda_3 + \lambda_4)/2$ の光を用いという具合にすることで、第1の入力光～第3の入力光それぞれの波長ずれ対策が可能になる。

4) / 2の光を用いという具合にすることで、第1の入力光～第3の入力光それぞれの波長ずれ対策が可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(A)および(B)は、この発明の合分波素子の作用を説明する図である。

【図2】第1の実施の形態の合分波素子を説明する図である。

【図3】第1の実施の形態の合分波素子の動作を説明する図である。

【図4】第1の実施の形態の合分波素子の動作を説明する図である。

【図5】第1の実施の形態の合分波素子での位相差変換を説明する図である。

【図6】第1の実施の形態の合分波素子の動作を説明する図であり、特に、第1～第4の位相差付与特性を説明する図である。

【図7】分配部と集光部の設計例を説明する図である。

【図8】第1の実施の形態の他の設計例を説明する図である。

【図9】第2の実施の形態の合分波素子の、特に位相差付与部を説明する図である。

【図10】第3の実施の形態の合分波素子70を説明する図である。

【図11】第3の実施の形態の好適例を説明する図である。

【図12】第3の実施の形態の合分波素子の動作を説明する図である。

【図13】第4の実施の形態を説明する図である。

【図14】第5の実施の形態の説明図である。

【図15】分配手段を平面導波路以外で構成する第1の例の説明図である。

【図16】分配手段を平面導波路以外で構成する第2の例の説明図である。

【符号の説明】

10：第1の実施の形態の合分波素子

11：基板

13：分配部

15：位相差付与部

15a：第1の導波路アレイ

15a1～15am：第1の導波路アレイの各導波路

15b：平面導波路

15b1：平面導波路の第1端

15b2：平面導波路の第2端

15c：第2の導波路アレイ

15c1～15cn：第2の導波路アレイの各導波路

15d：第1のテーパ導波路

15e：第2のテーパ導波路

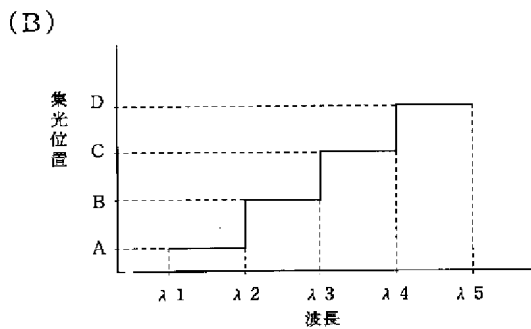
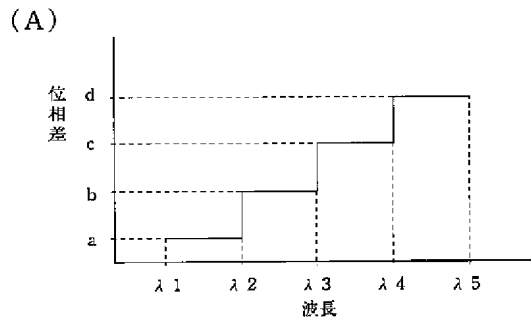
17：集光部

19、19a～19c：入力導波路

21、21a～21c：出力導波路
 31a～31c：分配光
 33：波面
 P1：第1のピッチ
 P2：第2のピッチ
 41：第1の位相差付与特性
 42：第2の位相差付与特性
 42a：傾斜部分
 43：第3の位相差付与特性
 44：第4の位相差付与特性
 70：第3の実施の形態の合分波素子

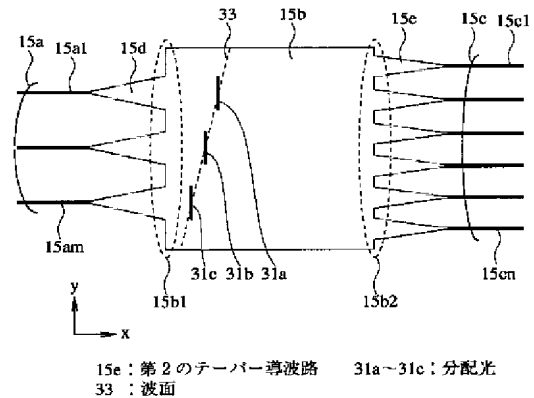
71：位相差付与部
 71a：第1の導波路アレイ
 71a1～71am：第1の導波路アレイの各導波路
 71b：平面導波路
 71b1：平面導波路の第1端
 71b2：平面導波路の第2端
 71c：第2の導波路アレイ
 71c1～71cn：第2の導波路アレイの各導波路
 71d：第1のテーパ導波路
 71e：第2のテーパ導波路
 73、73a、73b：球面波

【図1】



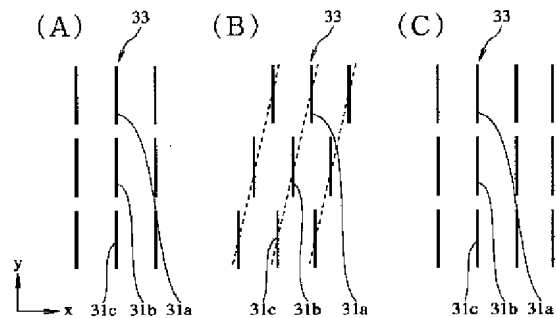
この発明の作用を説明する図

【図3】



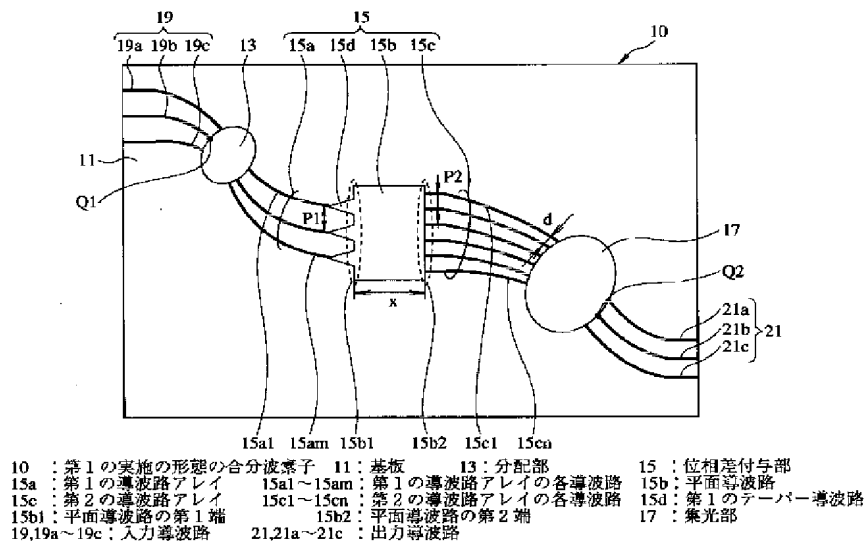
第1の実施の形態の動作説明図

【図4】



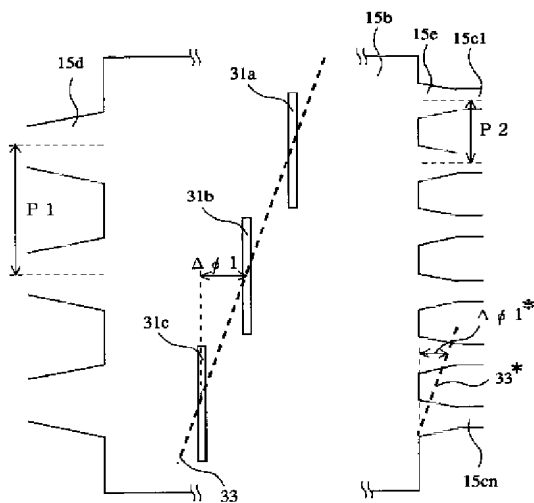
第1の実施の形態の動作説明図

【 図 2 】



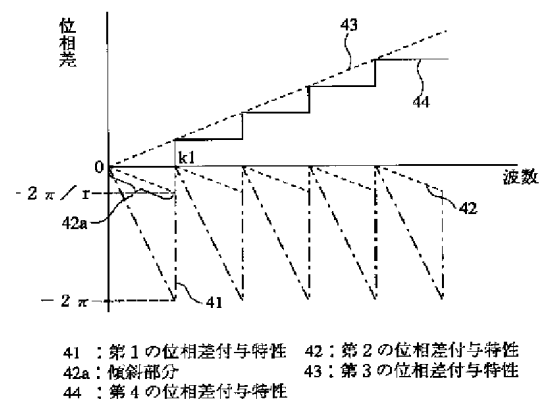
第 1 の実施の形態の説明図

【 図 5 】



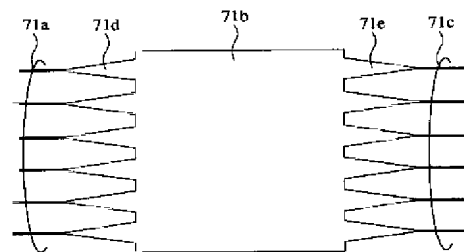
位相差変換を説明する図

【 図 6 】



第 1 の実施の形態の動作説明図

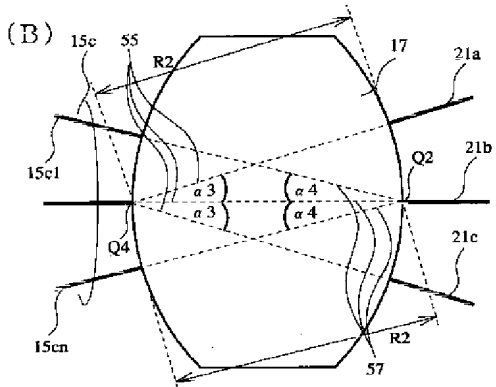
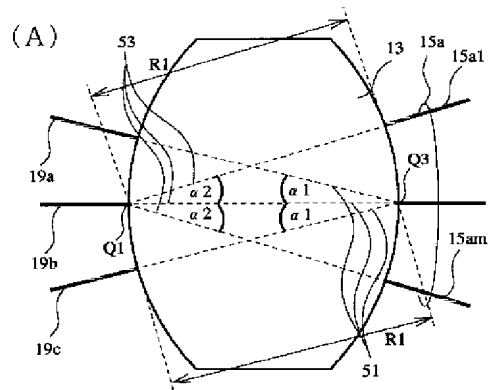
【 図 11 】



71d : 第 1 のテーパ導波路 71e : 第 2 のテーパ導波路

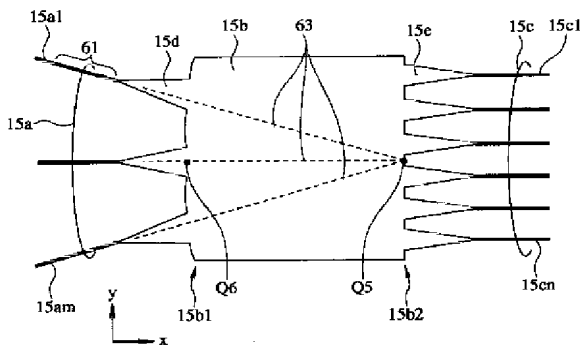
第 3 の実施の形態の好適例の説明図

【图7】



分配部と集光部の設計例

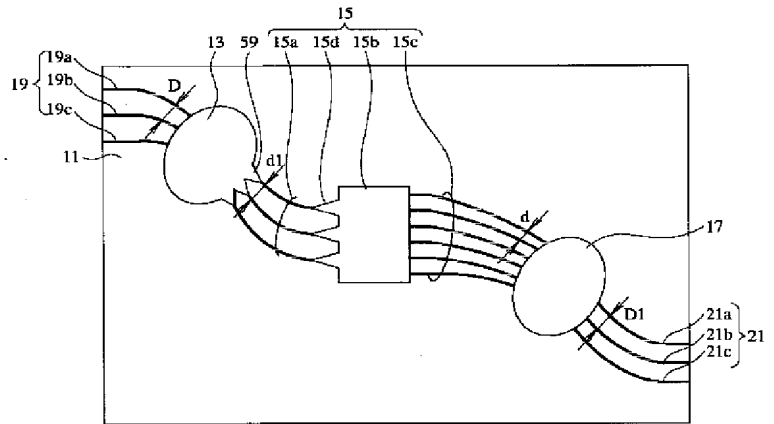
【图9】



61：導波路の端部 63：仮想直線

第2の実施の形態の説明図

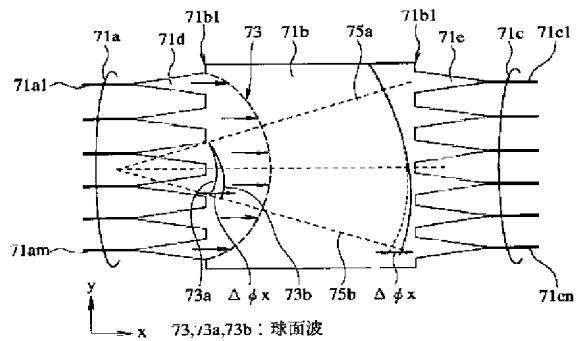
【図8】



59: テーパー導波路

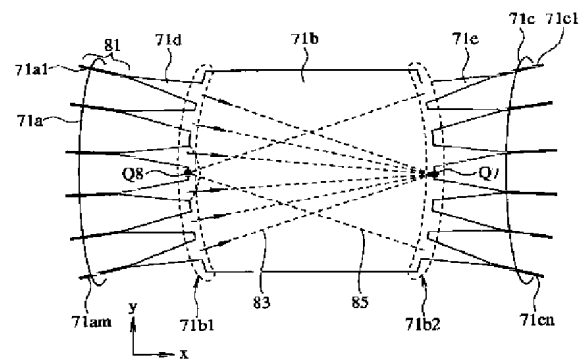
第1の実施の形態の他の設計例

【例 12】



第3の実施の形態の動作説明図

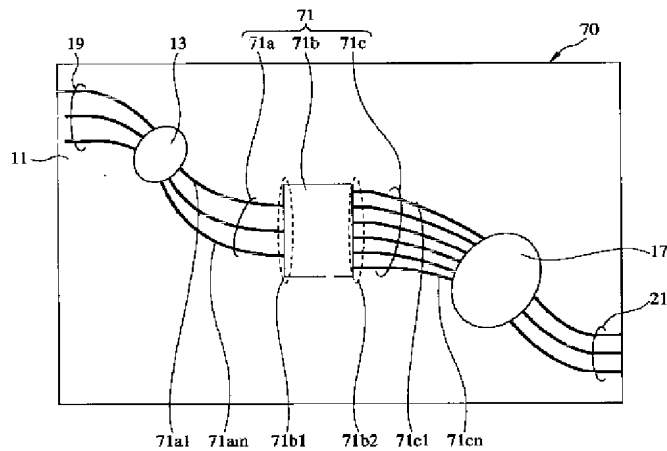
【例 13】



81:導波路の端部 83,85:仮想直線

第4の実施の形態の説明図

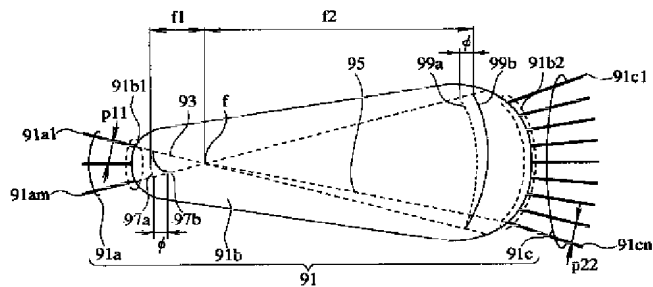
【図10】



70 : 第3の実施の形態の合分波素子
 71a1~71a2, 71c1~71c2 : 導波路
 71b2 : 平面導波路の第2端
 71 : 位相差付与部
 71b : 平面導波路
 71c : 第2の導波路アレ
 71a : 第1の導波路アレ
 71b1 : 平面導波路の第1端

第3の実施の形態の説明図

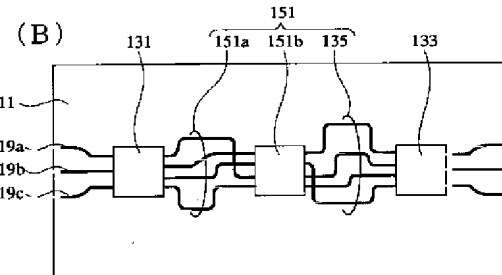
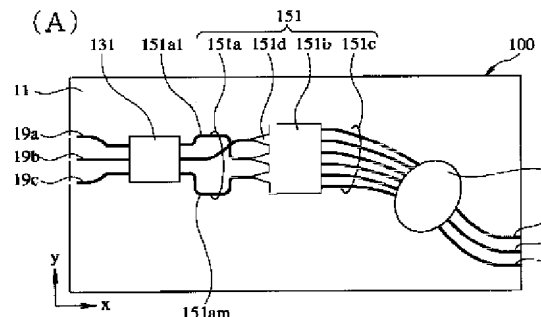
【図14】



91 : 位相差付与部
 91a : 第1の導波路アレ
 91b : 平面導波路
 91b1 : 平面導波路の第1端
 91b2 : 平面導波路の第2端
 93 : 第1仮想直線
 95 : 第2仮想直線
 97a, 97b, 99a, 99b : 球面波
 f1, f2 : 焦点距離

第5の実施の形態の説明図

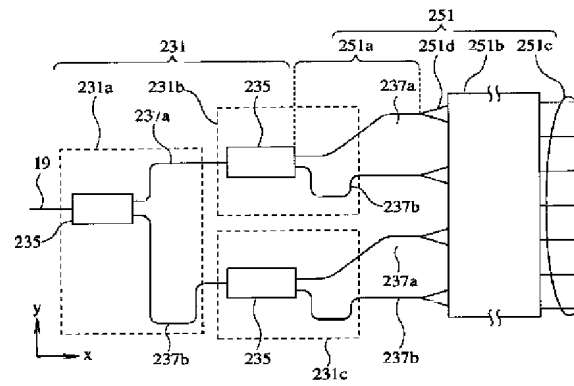
【図15】



100 : 他の実施の形態の合分波素子
 133 : 集光部 (第2のMMI)
 151 : 位相差付与部
 151b : 平面導波路
 151d : 第1のテーパ導波路
 131 : 分配部
 135 : 導波路アレ
 151a : 第1の導波路アレ
 151c : 第2の導波路アレ
 151a1~151am : 導波路

他の実施の形態の説明図

【図16】



- | | |
|------------------|------------------------|
| 231 : 分配部 | 231a~231c : マツハツェンダ型回路 |
| 235 : カプラ | 237a, 237b : 長さの異なる導波路 |
| 251 : 位相差付与部 | 251a : 第1の導波路アレイ |
| 251b : 平面導波路 | 251c : 第2の導波路アレイ |
| 251d : 第1のテーパ導波路 | |

他の実施の形態の説明図